蘇鐵白輪盾介殼蟲之發生生態及防治

邱一中[1] 吳文哲[1] 賴博永[2] 施錫彬[3] 石正人[1,4]
[1]台北市 國立台灣大學昆蟲學系
[2]屏東縣內埔鄉 國立屏東科技大學熱帶農業暨國際合作研究所
[3]桃園縣新屋鄉 行政院農業委員會桃園區農業改良場
[4]通訊作者

摘 要

蘇鐵是國內重要的園藝觀賞作物，近年來受到新侵入害蟲蘇鐵白輪盾介殼蟲(*Aulacaspis yasumatsui* Takagi, 1977)的嚴重危害，造成公園、學校、機關、栽培園的蘇鐵大量死亡。蘇鐵白輪盾介殼蟲繁殖力強，為害範圍遍及全株，尤其可深入植株莖部鱗片深處及地下的根部棲息，防治極為困難。加上本蟲在台灣出現的時間很短，基礎生物與生態學研究資料相當缺乏，使得相關單位對該蟲的為害一籌莫展。本文以該蟲的入侵分散、診斷鑑定、生活史及族群動態調查、殺蟲藥劑篩選、本土天敵調查、輻射檢疫處理、緊急防治處理及杜絕該蟲蔓延保護區的標準操作程序等項目進行研究，期能有助於進行蘇鐵白輪盾介殼蟲的綜合防治。

關鍵詞：蘇鐵、蘇鐵白輪盾介殼蟲、鑑定、族群動態、緊急防治

前　言

蘇鐵 (Cycads) 爲常見的景觀植物，經濟價值相當高。台灣常見的蘇鐵有 6 種，其中大量栽培的種類爲琉球蘇鐵 (*Cycas revoluta*)。台東蘇鐵 (*Cycas taitungensis*)，原名台灣蘇鐵，則爲台灣本土珍貴稀有的植物 [23]。根據文獻記載及近年的調查，爲害蘇鐵的昆蟲中，最重要的是東陞蘇鐵小灰蝶 (*Chilades pandava peripatria*)，其幼蟲專食剛發出的新芽及嫩葉，不但嚴重影響蘇鐵的生長，植株觀賞的價値亦大受影響 [4, 5, 8]；其他已記錄的害蟲如下 [4, 5, 7, 8]：黃毒蛾 (*Euproctis* sp.)[4]、黃吹綿介殼蟲 (*Icerya seychellarum*)、白蠟介殼蟲 (*Ceroplastes floridensis*)、長堅介殼蟲 (*Coccus longulus*)、咖啡硬介殼蟲 (*Saissetia coffeae*)、淡薄圓盾介殼蟲 (*Aspidiotus destructor*)、褐圓盾介殼蟲 (*Chrysomphalus aonidum*)、擬褐圓盾介殼蟲 (*Chrysomphalus bifasciculatus*)、橙褐圓盾介殼蟲 (*Chrysomphalus dictyospermi*)、楠眞牡蠣盾介殼蟲 (*Eucornuaspis pinnaeformis*)、椰子櫛圓盾介殼蟲 (*Hemiberlesia lataniae*)、蘇鐵牡蠣盾介殼蟲 (*Lepidosaphes cycadicola*)、黃片盾介殼蟲 (*Parlatoria proteus*)、木瓜腎圓盾介殼蟲 (*Aonidiella inornata*)[7, 8]。

自 2000 年 4 、 5 月起，台北及桃園的蘇鐵，遭受介殼蟲危害，嚴重者整株滿佈蟲體所分泌之白色介殼，受害蘇鐵逐漸萎凋甚至枯死，爲近年來蘇鐵最重要的害蟲。以臺北市爲例，市區內的公園、道路、綠地內栽植之蘇鐵，至少八成以上均受害，情形相當嚴重。受害株呈現頂上無葉，外觀變醜，失去觀賞價値。本介殼蟲經外部形態及分生技術的鑑定，確定爲蘇鐵白輪盾介殼蟲 (*Aulacaspis yasumatsui* Takagi)，並初步認定爲是新入侵台灣的新紀錄種 [2]。

蘇鐵白輪盾介殼蟲於 1972 年首次在泰國的蘇鐵上被發現 [25]，但該介殼蟲對當地的蘇鐵並未造成嚴重危害，因爲當地介殼蟲族群受到天敵的控制，長期都維持於低密度之下 [26]。1996 年，美國佛羅里達州南部遭到該介殼蟲入侵，在沒有天敵的控制及有效化學藥劑的防治下，威脅美國佛州苗圃栽種的蘇鐵及植物園中的珍稀蘇鐵目 (Cycadales) 植物；受害嚴重時，寄主植物滿佈蟲體所分泌之白色介殼，彷佛一層雪花覆蓋其上，極爲醒目，許多蘇鐵受感染一年後即枯死 [21](圖一)。美國的植物防疫專家調查結果，推測該介殼蟲可能是由亞洲進口的蘇鐵苗木所帶入。而且在發現侵入後兩年之內，在距侵入地北方 55 公里遠的地區和東方 120 公里處之地區，亦已發現爲害。如此迅速之擴散過程，極可能是藉由人爲苗木運輸造成 [21]。

蘇鐵白輪盾介殼蟲繁殖能力強，危害範圍遍及全株，尤其可深入植株基部，莖部鱗片深處，並且對藥劑的容忍力強，環境不好時，甚至可呈現休眠狀態。此外，蘇鐵植株可隱匿躲藏的地方很多，防治極爲不易，使得防治工作很難有效的展開。再加上本蟲的基礎生物與生態學研究資料相當缺乏，使得該蟲一發不可收拾。自2000年台北市傳出災情後，北、中、南、及東部各縣市也陸續傳出嚴重危害，短短的三年期間，已快速擴散達三百公里以上。

從害蟲綜合防治觀點來看，爲降低本蟲危害，避免擴大蔓延，需先進行該蟲在台灣地區之發生與危害現況調查。欲掌握本害蟲防治時機，及時提醒全國各地園藝工作者及民衆注意防範，則需建立蘇鐵白輪盾介殼蟲之基本生物學資料。因此自蘇鐵白輪盾介殼蟲侵入台灣後，首先即開始進行形態鑑定及分子診斷資料的建立、開發檢疫處理技術以提供進出口物品的檢疫措施。其次，進行基礎生物及生態學的研究，以及有效殺蟲藥劑的篩選，找尋適合的防治藥劑，作爲日後綜合防治的依據。此外，本研究並收集國內外天敵資料，探討利用生物防治的可行性。最後，結合蘇鐵的生長栽培、害蟲的基礎生物學及發生生態監測、化學藥劑的篩選等，進行蘇鐵白輪盾介殼蟲綜合管理系統的建立，進而推廣應用於蘇鐵的栽培管理上。

一、建構蘇鐵白輪盾介殼蟲的形態及分子資料庫

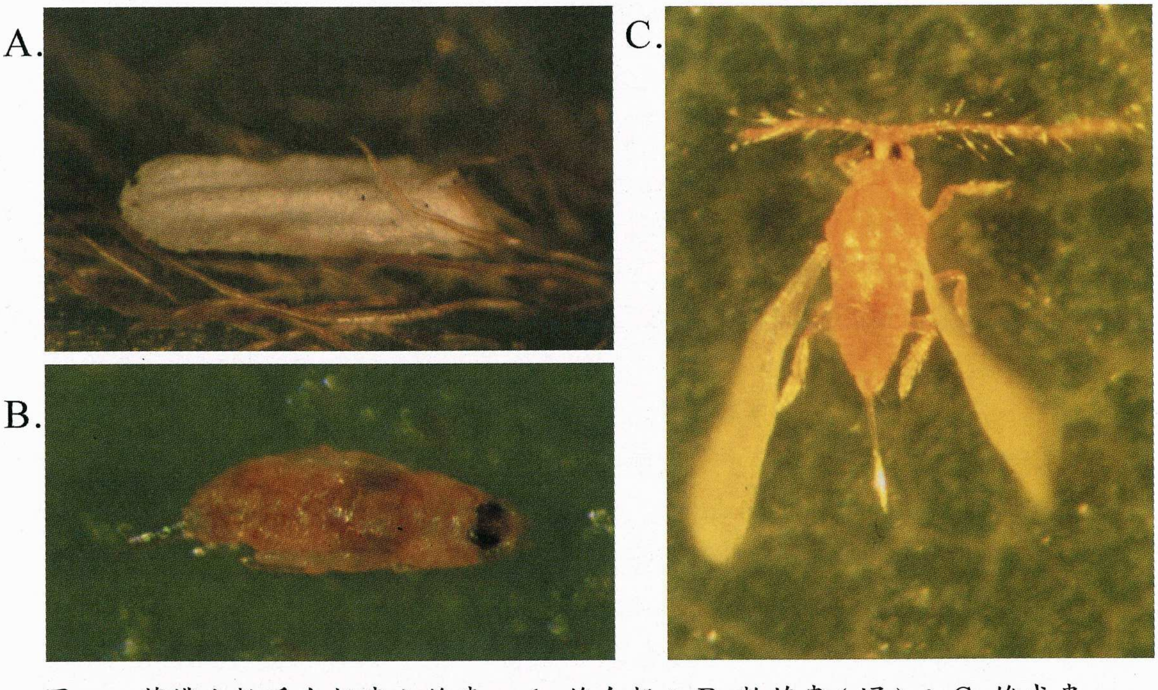
㈠形態特徵及世界分佈情形

蘇鐵白輪盾介殼蟲的世界分佈情形，依目前的調查報告，僅零星的侷限在8國家區域中，分別爲東南亞的泰國[25]、香港[10, 20]和新加坡[19]，美國的佛羅里達州[21] 和夏威夷群島[18]，以及中美洲加勒比海區域的開曼群島[20]、美屬維京群島[20]和波多黎各[17]等地區。

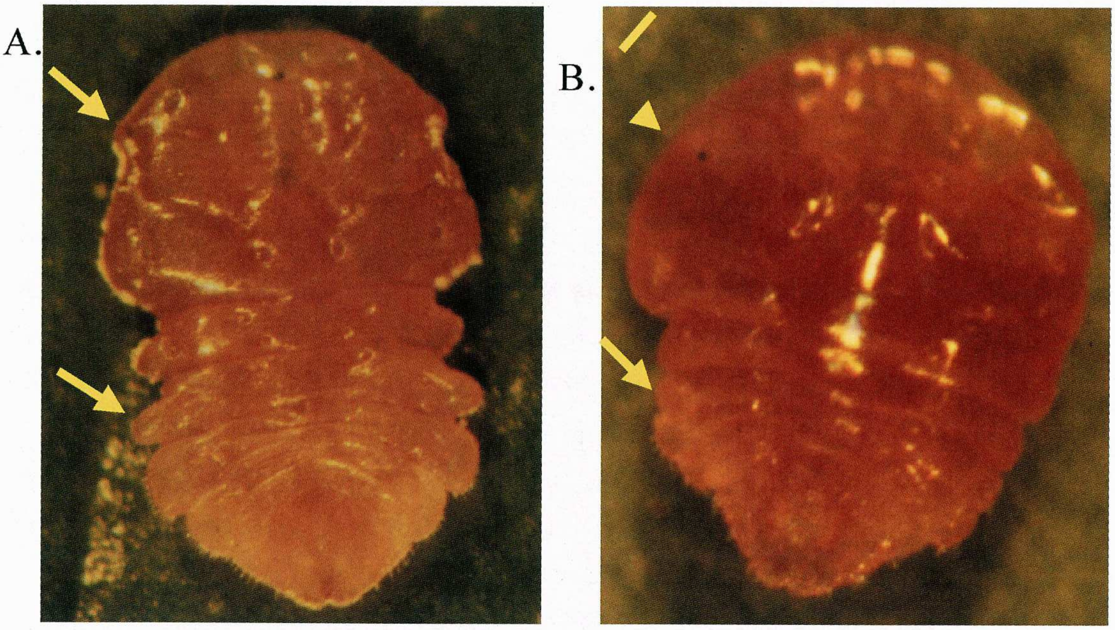
白輪盾介殼蟲屬昆蟲之雌、雄蟲外形完全不同。雄成蟲，體呈橘色，口器退化，具有發達的觸角及複眼，後翅退化爲假平均棍，飛行能力差，腹部末端具有長形交尾器。雄若蟲的介殼，爲長形具有三條縱脊的柔軟介殼[6, 14]（圖二）。白輪盾介殼蟲屬昆蟲在種級的分類上，主要以雌成蟲的外部形態作爲分類的依據。

蘇鐵白輪盾介殼蟲在2000年入侵台灣後，我們即針對該介殼蟲進行形態的鑑定及分子診斷技術的開發。在外部形態上，該介殼蟲之雌成蟲，與同屬介殼蟲最主要的區分特徵有二：一是成熟個體之前體兩側圓滑並無向外突起，以及前三腹節漸次縮窄，並未具有向外特別突出的葉狀部[25]（圖三）；二是亞中區(submedian)和亞緣區腺管(submarginal macroducts)、腺刺(gland spines)以及氣孔區(spiracular)和圍陰區的盤狀腺孔(perivulvar disc pores)較少。該蟲各時期主要特徵如下：

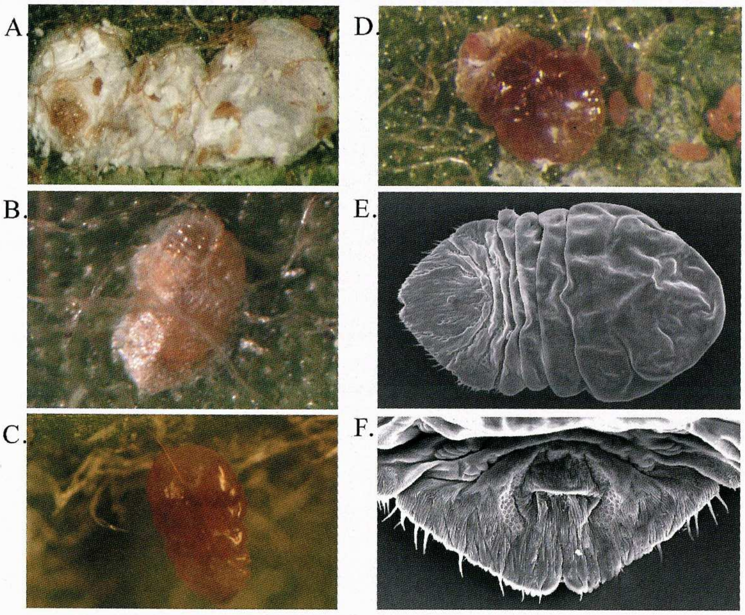
圖一、被蘇鐵白輪盾介殼蟲感染的蘇鐵葉片出現雪白病徵
Fig. 1. Whitewashed appearance of cycad leaf caused by *Aulacaspis yasumatsui*.



圖二、蘇鐵白輪盾介殼蟲之雄蟲。A. 雄介殼；B. 齡若蟲（蛹）；C. 雄成蟲。
Fig. 2. Male cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi. A. male scale cover, B. fourth instars (pupa), C. adult male.



圖三、A. 月橘白輪盾介殼蟲和 B. 蘇鐵白輪盾介殼蟲之比較
Fig. 3. Comparison of. *Aulacaspis murrayae* (A), and *A. yasumatsui* (B).



圖四、蘇鐵白輪盾介殼蟲之雌蟲。A. 雌介殼；B. 2 齡若蟲；C.-E. 雌成蟲；F. 臀板和圍陰腺孔群。
Fig. 4. Female cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi. A. female scale cover, B. second instars, C.-E. adult female, F. pygidium and perivulvar pores.

1. 雌成蟲形態

雌成蟲介殼呈白色，外形多變，呈梨形或邊緣不規則形。蟲體爲橘色隱於介殼之下，軀體粗短，大多爲膜質，頭胸部區 (cephalothorax) 及臀板 (pygidium) 有骨化現象。前體 (prosoma) 圓弧狀，與本屬其他種類相比，此區之膨脹程度較不明顯。中胸寬於後胸，腹部逐漸向後窄縮，整體而言是前體寬於後體 (postsoma)。腹部背面亞體緣部 (submarginal) 具背腺管列 (series of macroduct)。亞中區 (submedian) 背小管 (dorsal microduct) 位於後胸和腹部第 1 、 2 節，亦常延及中胸。第 1 腹節側葉 (lateral lobe)，每側各具 1 到 2 根腺刺 (gland spine)。第 4 腹節每側各具 2 根緣腺刺 (marginal gland spine)；第 5 至 8 腹節每側，則各具 1 根。第 3 到 5 腹節背方體中區至亞緣區 (submarginal zone) 具背腺管列 (series of macroduct)。氣孔盤狀腺孔 (spiracular disc pore) 在前胸具 10 到 24 個，後胸 6 到 15 個。臀板寬廣，邊緣呈圓弧狀，中臀葉 (median lobe) 大於側臀葉 (lateral lobe)，第 2 與 3 臀葉亦發達。中臀葉末端內陷，且內陷區後緣 (mesal margin) 呈微鋸齒狀 (minutely serrate)，頂部圓滑。第 2 臀葉內瓣圓弧狀，較外瓣大，二者相似。第 3 臀葉內瓣發達，外瓣小，呈鋸齒狀。圍陰腺孔 (perivulvar pore)，中群 12 到 17 個，前側群 14 到 26 個，後側群 14 到 21 個 [25](圖四)。

2. 雄成蟲形態

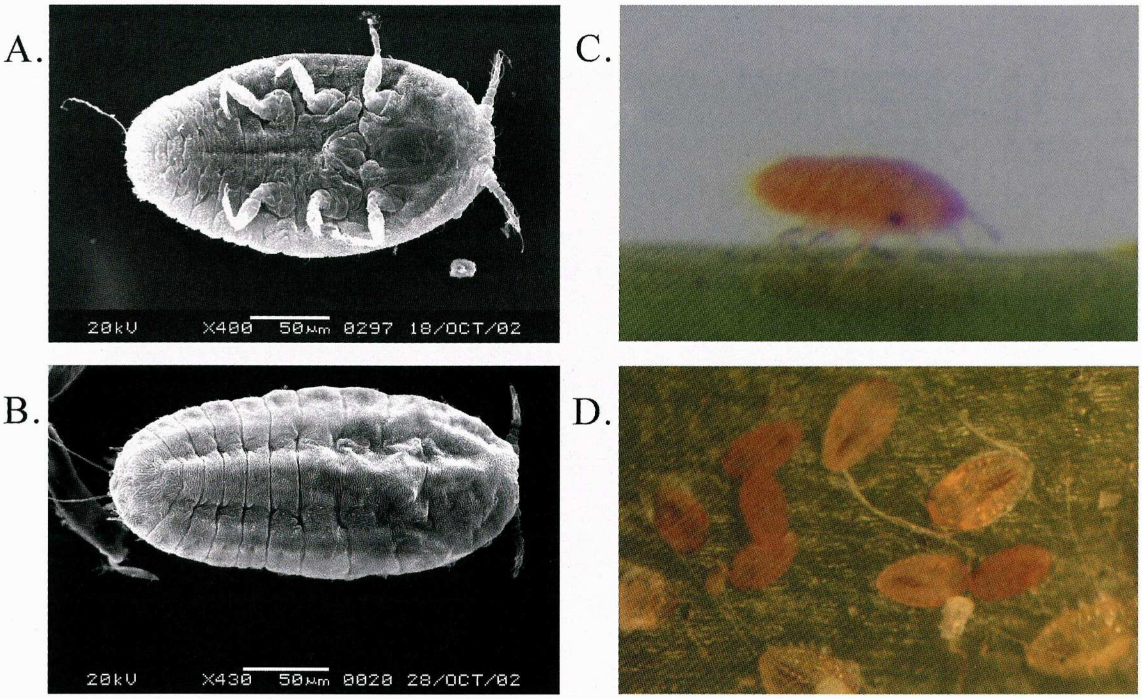
雄成蟲體爲橙黃色，無腺管發育。頭三角形，具 4 眼，背腹各 2 ，口器退化。觸角絲狀，每節上有很多細長的剛毛，前胸和頭癒合，膜質，前胸背板完全發育。中胸發達，骨化程度高，前胸與中胸背板表面皆具皺摺，中胸背側板有翅 1 對，約和蟲體等長，翅基部窄端部寬，膜質，表面具大量絨毛，翅脈有共同軸再分成 R 和 M 脈 2 條。後翅退化成棍狀，端部有 1 長剛毛。足發達，細長，有許多長剛毛，單爪。腹部末端具長形交尾器，其基部有 1 對長剛毛，內具鞘。

3. 初齡若蟲形態

初孵化時，體膜質，橙色，呈卵圓形。體表具大量皺摺，體緣著生有長形剛毛。觸角 5 節；基節最膨大，上有 2 根長剛毛；第三節中央內陷，看似兩節；第五節最細長，上有環紋，具長形端剛毛數根。眼點位於頭部前方體側，明顯突起。中胸及後胸腹方各有 1 對氣孔，周圍具三格盤狀孔。足部發育完全，跗節末端具細長單爪。腹部腹面體節相接處有大量微刺，呈鋸齒狀排列。臀板第一葉突起不明顯，第二葉完全發育，分爲 2 片，每片 4 齒，第三葉未發育。腹部末端具 1 對長尾毛，長度可達身體的一半 (圖五)。

㈡蘇鐵白輪盾介殼蟲分子鑑定

介殼蟲蟲體微小且外形相似，幼體時期特徵不明顯，在鑑定上不易確定，造成

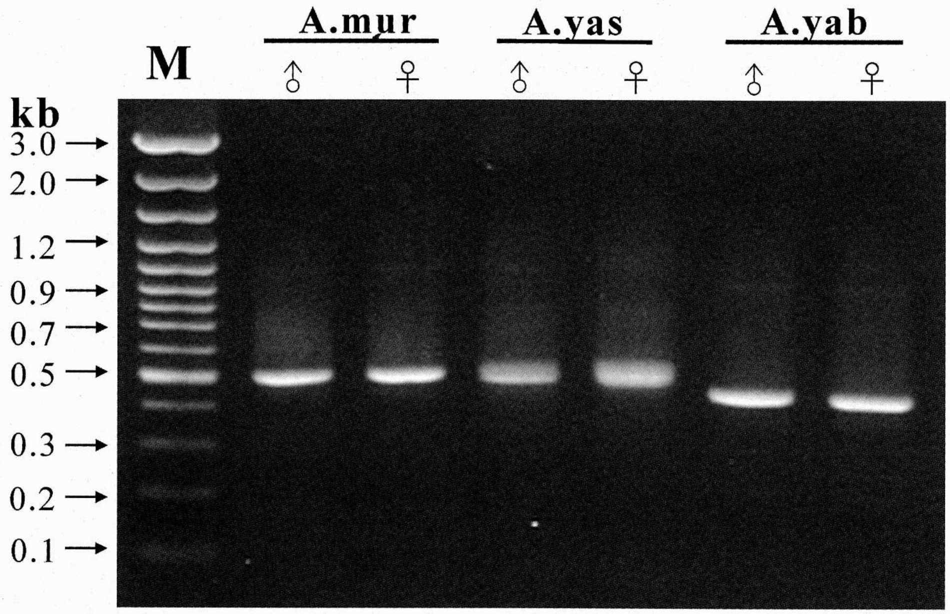


圖五、蘇鐵白輪盾介殼蟲之初齒若蟲。A. 遊走若蟲(腹面);B. 遊走若蟲(背面);C. 遊走若蟲;D. 固著若蟲。

Fig. 5. First instars of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi. A. crawler (ventral), B. crawler (dorsal), C. crawler, D. fixed first instars.

在檢疫及害蟲鑑定工作上困難重重。目前已利用基因組核酸標誌 (genomic DNA markers) 的分子診斷技術,提供鑑定 3 種台灣普遍存在的白輪盾介殼蟲 (*Aulacaspis* spp.),包括爲蘇鐵白輪盾介殼蟲、月橘白輪盾介殼蟲 (*A. murrayae* Takahashi) 和樟白輪盾介殼蟲 (*A. yabunikkei* Kuwana)。本研究主要利用聚合酶連鎖反應-限制酶片段長度多態型 (polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism, PCR-RFLP) 技術,探討核糖體形成基因 (ribosomal DNA, rDNA) 之組成差異 [2]。

使用單隻標本分別萃取 DNA 後,利用 PCR 引子對 (Amur18S-3 和 ITS6) 增幅 rDNA 之部分的 18S 、 ITS1 及部分的 5.8S 區域。結果顯示,蘇鐵白輪盾介殼蟲和月橘白輪盾介殼蟲均產生約 500bp 的 DNA 片段;樟白輪盾介殼蟲則產生約 450bp 的 DNA 片段 (圖六)。將增幅的片段利用多種限制酶進行 RFLP 分析,結果以 TaqI 、 MspI 、 CfoI 和 HaeIII 四種限制酶所得的 RFLP 圖譜,可容易區別三種白輪盾介殼蟲 [2](圖七)。



圖六、利用 Amur18S-3 和 ITS6 引子組合增幅三種白輪盾介殼蟲之 ITS1/rDNA 的 PCR 產物圖譜

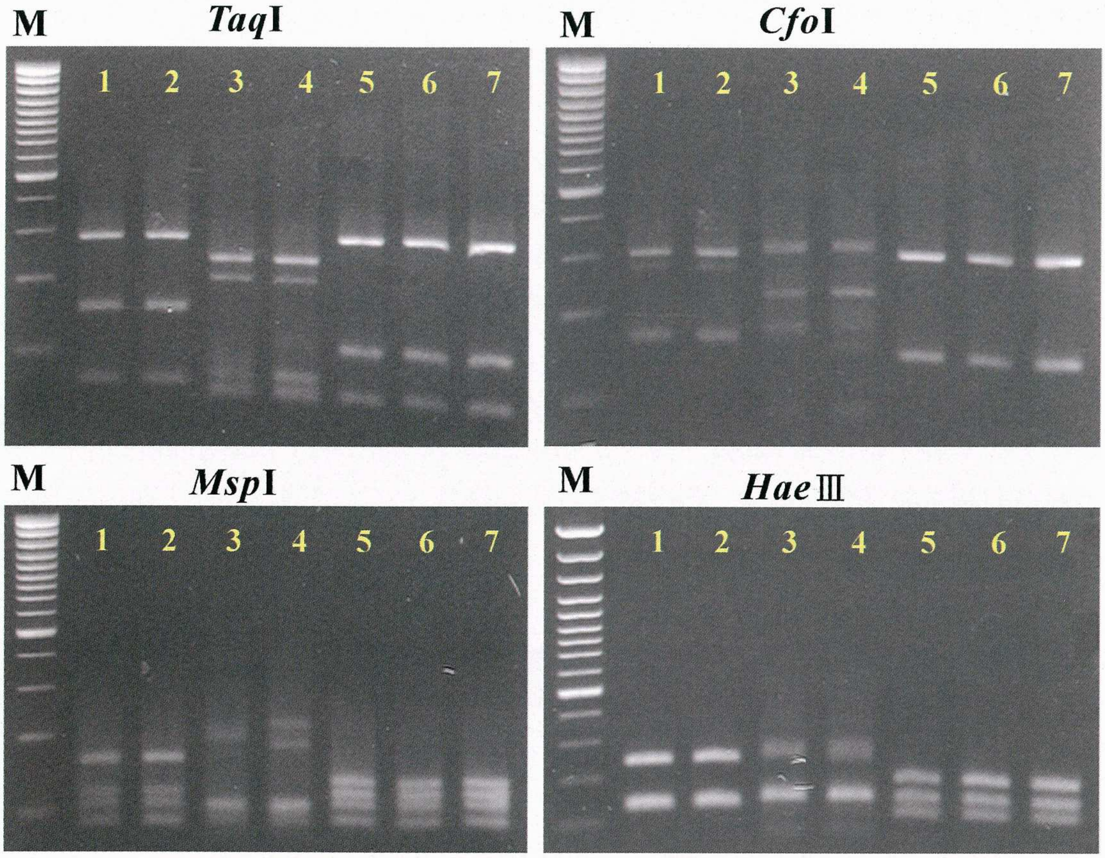
Fig. 6. Amplification patterns of PCR products of ITS1 regions on rDNA using the primers, Amur18S-3 and ITS6, for three Aulacaspis species. *A. mur*, *A. murrayae*; A. yab, *A. yabunikkei*; A. yas, *A. yasumatsui*. M, 100bp DNA ladder maker (MBI Fermentas).

二、蘇鐵白輪盾介殼蟲生物學及生態學的研究

㈠生活史及習性

蘇鐵白輪盾介殼蟲其卵的長徑約 0.23mm ，橫徑約 0.11mm 。在定溫 25 °C相對濕度 60% 的條件下，約 8-19 天可孵化成一齡若蟲。孵化的時間會受雌成蟲日齡的影響，即愈早產出的卵，其孵化時間較長。 6-9 月所進行的孵化試驗，其孵化率約在 90% 左右，但 10 月的試驗則僅有 61% 左右，推測 10 月以後所產下的卵，可能具有滯育越冬的現象。

一齡若蟲可依其不同行爲分成四個時期，首先是剛孵化後的靜止期 (postnatal torpidity) ，一齡若蟲孵化後會在母體的介殼下靜止不動，持續數分鐘到數小時，直到受碰觸刺激後才進入第二期。第二期是移動擴散期 (moving period) ，這是蘇鐵白輪盾介殼蟲一生中唯一活潑移動的時期，移動距離可達數十公尺以上，因其迂迴的移動且通常於母體不遠處固著，故稱爲遊走若蟲 (crawler) 。雌、雄蟲的移動能力不同，一般雌蟲移動能力較雄蟲強，且雄蟲喜歡在母體附近聚集。當遊走若蟲將口針刺入蘇鐵植株後，便進入第三期取食生長期 (feeding period) ，此時足收縮於身體下方，將身體撐平後，用口針固著於蘇鐵植株上取食，並開始分泌蠟絲，當



圖七、四種割 ITS1/rDNA 區段的 PCR 限產物制（引子組合為 Amur18S-3 and ITS6）之種間 RFLP 圖譜分析（A. TaqI; B. MspI; C. CfoI; D.Hae I）。

Fig. 7. Inter-species RFLP analysis of the ITS1/rDNA region PCR product (primers Amur18S-3 and ITS6) (endonucleases: TaqI, MspI, CfoI, and Hae I).

Lane 1 & 2, *A. murrayae*; lane 3 & 4, *A. yasumatsui*; lane 5-7, *A. yabunikkei*, M, GeneRuler TM 100bp DNA ladder plus maker (MBI Fermentas).

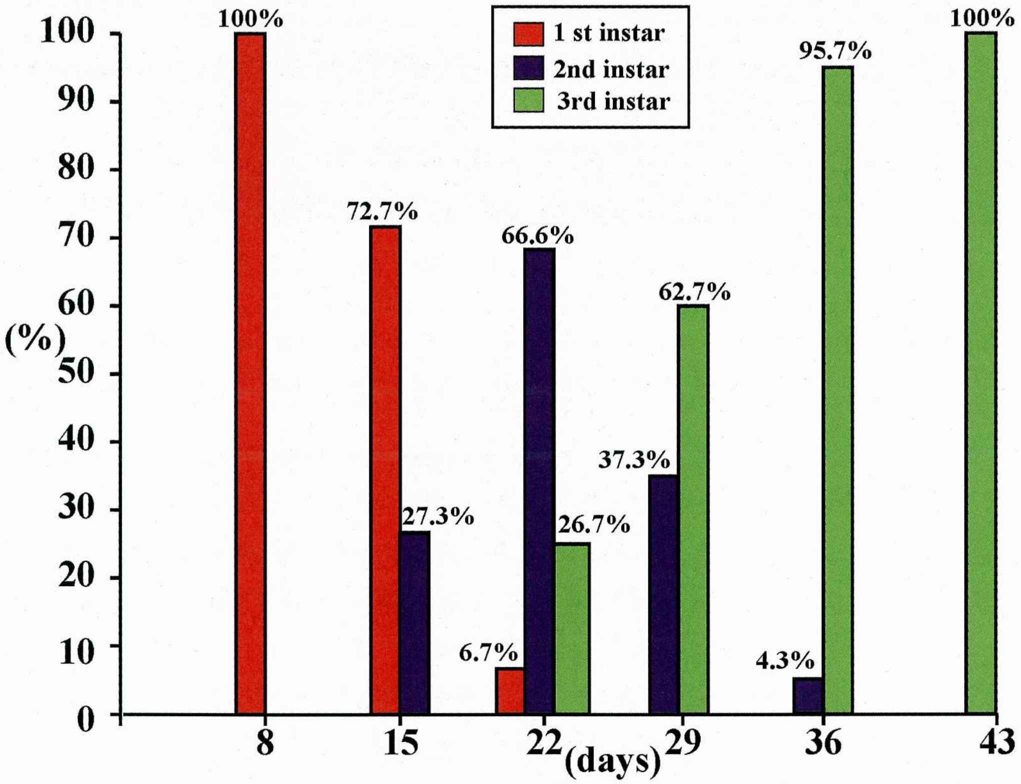
身體長到一定大小時，便進入第四期，形態變化期 (morphogenetic period)，此時取食停止且觸角開始退化，在足完全退化及新皮腺形成後，便脫皮進入第二齡期 (22)。

二齡若蟲從介殼外形即可明顯區分雌、雄，後者之介殼具有三條長形縱脊的柔軟介殼，此分泌的介殼會持續到雄蟲羽化。二齡雌蟲的足及觸角均已退化，並利用脫皮後新生的口器再插入蘇鐵植株固著取食，此時期已具有完整的臀板，但生殖器尚未發育成熟，取食成長到一定大小時，便再度脫皮進入第三齡，即爲成蟲。成蟲與二齡雌若蟲外形相似，差異僅在雌成蟲具有圍陰腺孔群，且能生殖產卵。剛脫皮後的雌成蟲體軀仍可繼續成長，特稱爲幼體成蟲 (neotenic)(6, 24)。處女成蟲會將臀

板伸出介殼外，並釋放性費洛蒙吸引雄蟲交尾。田間初步調查結果顯示，雌成蟲以孤雌生殖爲主，且分別有產雄與產雌的不同雌成蟲個體，値得再進一步研究。

生活史的試驗中，收集試驗區的蟲卵，孵化後即轉移至蘇鐵植株，第 14 、 15 天即脫皮進入第二齡雌若蟲，約至第 22 天再脫皮進入雌成蟲期，雌成蟲於第 36 天開始達性成熟可開始產卵（圖八）。雌成蟲可終生產卵，在繁殖季節，產卵期約 4-6 週，而在冬季世代的雌成蟲，產卵期可達 13 週 [21] 。卵產出後，圍陰腺孔群會分泌蠟絲，覆於卵殼上加以保護。一般雌成蟲產卵量達 100 顆以上。

三齡雄若蟲不具有口器，不食不動，也不再分泌蠟絲，因此一般稱三齡雄若蟲爲前蛹期，四齡雄若蟲爲蛹期。三齡前蛹期的口器和消化器官退化，且具有部分成蟲器官的芽體，如觸角、複眼、翅、足和交尾器，但從外形上仍無法完全看出。四齡蛹期的觸角和足分節明顯，胸板結構較前蛹複雜，交尾器明顯外露，類似完全變態類之裸蛹，形態完全不同於前三齡若蟲，但蛹期具有外露的翅芽，與眞正完全變



圖八、蘇鐵白輪盾介殼蟲感染蘇鐵後，在 2002 年 9-10 月間不同齡期的百分比

Fig. 8. Percentages of different instars of *Aulacaspis yasumatsui* on cycad host plants at successive intervals after infestation by the scale insect on September-October 2002.

態類昆蟲不同。雄成蟲複眼及觸角發達，但口器退化，羽化後壽命僅 1 ～ 2 天，具有翅一對，不善飛行，會被雌成蟲的性費洛蒙吸引前往交尾 (16) 。

㈡危害情形及寄主範圍

蘇鐵白輪盾介殼蟲主要危害蘇鐵科 (Cycadaceae) 、美洲鳳尾蕉科 (Zamiaceae) 和蕨狀蘇鐵科 (Stangeriaceae) 的植物。其中，又以蘇鐵科中的蘇鐵屬 (*Cycas*) 植株受害最爲嚴重，根據目前的文獻紀錄顯示，該蟲可危害至少 23 種蘇鐵植物 (表一) 。蘇鐵白輪盾介殼蟲可危害蘇鐵全株各部，包括根莖葉部、毬花 (strobili) 和種子等，其中又以葉軸 (rachides) 與羽狀小葉 (pinnae) 受害最爲嚴重 (21) 。

爲害葉片時，較偏好在葉下表面，首先集中於葉片基部危害，然後逐漸擴散於葉軸下表面。葉軸下表面之蟲口密度十分擁擠時，逐漸轉往羽狀小葉下表面危害，在蟲口密度極高時，便會擴散到葉上表面。嚴重危害時，數量衆多的雌雄蟲層層交

表一、蘇鐵白輪盾介殼蟲可感染的蘇鐵目種類 (改自 Howard et all, 1999)
Table 1. Cycads infested with cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi (modified from Howard et al., 1999)

Family	Genus	Species
Cycadaceae	*Cycas*	*media* R. Brown
		panzhihuaensis L. Shou & S. Y. Yang
		revoluta Thunberg
		rumphii Miguel
		seemannii A. Braun
		szechuanensis W. C. Cheng & L. K. Fu
		taitungensis C. F. Shen, K. D. Hill, C. H. Tsou & C. J. Chen
		thouarsii R. Brown ex Gaudich
		wadei Merrill
Zamiaceae	*Dioon*	*califanoi* De Luca & Sabatori
		edule Lindley
		merolae De Luca
		rzedowskii De Luca, Moreti, Sabatori & Vasquez
		spinulosum Dyer (strobili only)
		tomasellii De Luca var. *sonorense*
	Encephalartos	*barteri* Miguel (strobili only)
		ferox Bertoloni
		hildebrandtii nr. Lembombensis A. Braun & Bouché
		manikensis (Gilliland)
		pterogonus R. A. Dyer & I. Verd
		whitelockii P. J. H. Hurter
	Microcycas	*colocoma* (Miguel) de Candolle (strobili only)
Stangeriaceae	*Stangeria*	*eriopus* (Kunze) Baillon

表一

疊，在蘇鐵植株上滿佈蟲體所分泌的白色介殼，有如覆蓋一層層的白色雪花十分醒目。最後葉片黃化，枯萎，終至脫落，如遇乾燥的季節則更易枯死。除了葉片外，蘇鐵白輪盾介殼蟲可危害土壤下蘇鐵植株的主根，甚至可在 60cm 土壤下的根部發現蘇鐵白輪盾介殼蟲的存在，也因爲如此更增加防治的困難度 (21) 。此外，在莖幹部的危害，可深入芽鱗內部。

蘇鐵白輪盾介殼蟲在台灣短短不到三年的時間，已快速的蔓延危害超過三百公里以上的距離，從台北拓展到高雄、屏東、花蓮、台東，如此快速遷移擴散的主要原因，除了人爲的攜帶，苗木販售搬運的長距離移動之外，在短距離的遷移和鄰近植株間的傳播，則主要依靠具有移動能力主動分散的初齡若蟲。此外，移動的初齡若蟲和卵，也可藉由風及氣流進行被動的分散。其次在嚴重受害的葉片上，會佈滿剛孵化的初齡移動若蟲和散佈的卵粒，藉由葉軸、葉片和羽狀小葉的摩擦，造成初齡移動若蟲和卵粒隨風和氣流而遷移感染，甚至因爲受感染根部的接觸亦會進行短距離的遷移擴散。因此將受感染枝條及葉片修剪後，應立即用塑膠袋裝封後置於太陽下，至少曝曬七日，待葉片乾枯後再行丟棄或燒毀，避免藉由修剪後的感染葉片搬移而擴散。

三、蘇鐵白輪盾介殼蟲之族群動態

自 2000 年起，於台灣大學及中正河濱公園設置試驗區。 2003 年起，在台北、台中、彰化及嘉義又分別設置試驗區，每週進行一次蟲數的調查監測，期望瞭解蘇鐵白輪盾介殼蟲在環境中的族群變動，作爲防治時機的參考。

在 2001 年至 2003 年的族群動態監測記錄中發現，該蟲於 4 、 5 月開始族群顯著增多，在 6 月達到高峰，葉下表面的蟲體密度遠高於葉上表面，向風面的蟲體密度高於背風面。 7 月底 8 月初進入第二次發生高峰，而 9 月中則進入第三次發生高峰期，隨後於 10 月發生量逐漸降低，似乎將進入越冬期 (圖九) 。

從 2002 至 2003 年的族群動態監測記錄，與實驗室定溫定濕的生活史試驗的結果推測，生活史約 1.5 個月左右的蘇鐵白輪盾介殼蟲，以 1.5 個月約一個世代的時間，自 4 、 5 月開始大量發生，至 10 月以後逐漸減少，其間約可發生 3 個世代，發生盛期在春末至初秋時期，冬天則進入休眠期。

四、蘇鐵白輪盾介殼蟲天敵之資料與調查

自 2002 年的例行性調查中，開始陸續發現不少蘇鐵白輪盾介殼蟲的天敵，其中包括有：瓢蟲類 (2 種) 、小蜂類 (2 種) 、薊馬類 (1 種) 、草蛉 (1 種) 。標本經送農業試驗所應用動物組初步鑑定後，分別爲：金小蜂科 (Pteromalidae)(種類未

明）；跳小蜂科 (Encyrtidae) 跳小蜂亞科 (Encyrtinae) 之 *Arrhenophagus chionaspidis* Aurivillius, 1888 以及薊馬類 *Aleurodothrips fasciapennis* (Franklin)。其中 *A. chionaspidis* 爲寄生於椰子擬白輪盾介殼蟲 (*Pseudaulacaspis cockerelli*) 與樟白輪盾介殼蟲 (*A. yabunikkei)* 之台灣原生種類。截至目前的調查，本寄生蜂的寄生率極高，但主要寄生於雄蟲，雌蟲被寄生的比率遠低於雄介殼蟲。

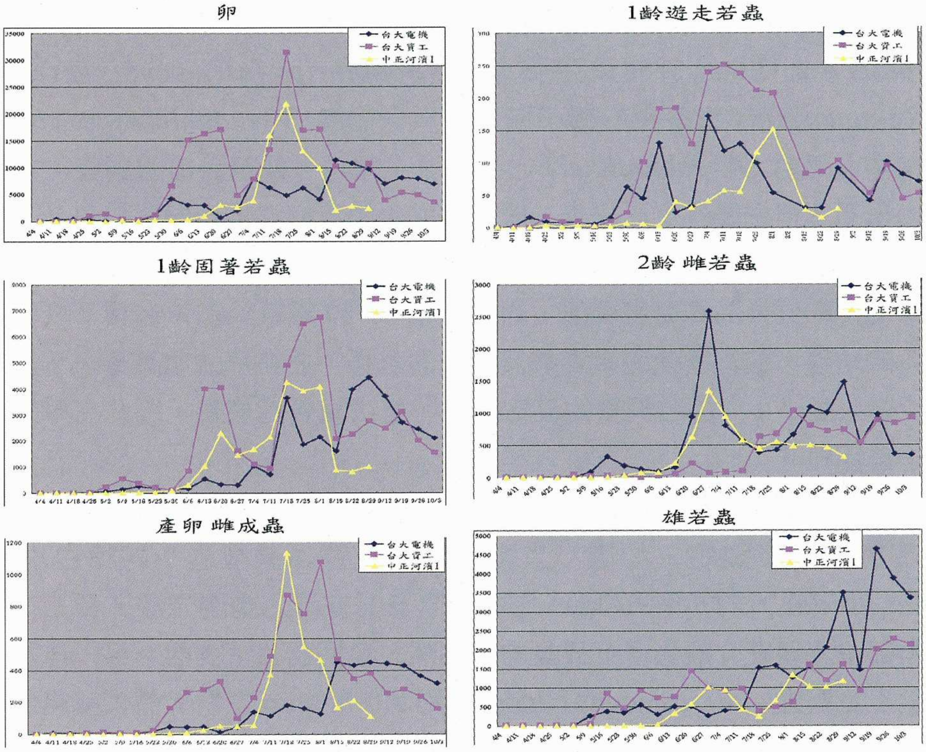
2002 年 2 月調查發現，有草蛉的卵產於受害的蘇鐵葉上，但產卵的密度並不高，一棵約 100 公分高的受害蘇鐵，約可尋獲 30-50 顆草蛉卵，在葉下表面可零星的發現草蛉幼蟲，進行獵捕遊走若蟲及固著的若蟲，並在草蛉幼蟲身上可發現雄介殼及雌介殼（圖十）。攜回飼養的草蛉幼蟲，無法飼養到成蟲，因此在草蛉的鑑定上遇到一些困難。

除了草蛉幼期外，於 3-6 月中也發現捕食性瓢蟲，瓢蟲類共有兩種，經台灣大學許洞慶教授初步鑑定，均屬小黑瓢蟲類。一種爲體型極小的粉白小黑瓢蟲 (*Telsimia nitida*)，約 0.5 -1.0mm 左右，全身具有黑色金屬光澤，身上不具有斑點，活動部位主要在介殼蟲密度最高的葉基部、葉柄及葉下表面。另一種爲體型較大的四點小黑瓢蟲 (*Pharoscymnus taoi)*，約 2.0-3.0mm 左右，體表呈黑色，翅鞘有四個橘色斑點，且體表密佈有細毛（圖十一）。7 月以後，瓢蟲的數量急遽減少，僅有零星個體。

在 5 月的調查中，首次採集到薊馬類天敵，經農業試驗所王清玲博士鑑定爲食粉蝨薊馬 (*Aleurodothrips fasciapennis* (Franklin))，此蟲喜歡躲藏於蘇鐵小葉下表面的凹陷處及介殼蟲的介殼內，觀察及採集的數量不多，僅在 5 、6 月有發現（圖十二）。

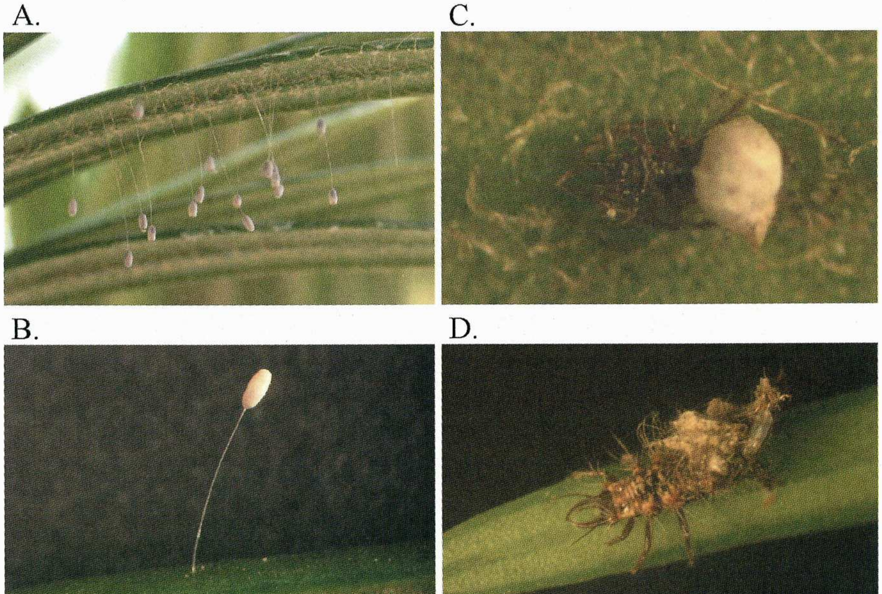
小蜂類天敵，發現有兩種，其中金小蜂科的寄生蜂僅在 4 、5 月有發現。另一種天敵--跳小蜂，經農業試驗所陳淑佩博士鑑定爲 *Arrhenophagus chionaspidis* Aurivillius，是蘇鐵白輪盾介殼蟲最重要的本土性天敵。從 4 月開始，即有零星的寄生個體發現，隨之，寄生率快速增高，6 月份雄介殼蟲被寄生率約 5 、6 成左右，到 10 月份，雄蟲被寄生率幾達 100%。雌蟲被跳小蜂寄生的比率則約 30% 成左右，由此可見，此跳小蜂有發展成爲蘇鐵白輪盾介殼蟲的生物防治天敵的潛力，值得針對此寄生蜂進行深入的探討（圖十三）。在野外的觀察中，此寄生蜂應是產卵於介殼蟲 2 、3 齡若蟲上。寄生雄蟲者，在雄蟲前蛹或蛹期時羽化，寄生雌蟲者，在雌蟲三齡成蟲期羽化。

除了昆蟲類的天敵外，在台東紅葉村及桃源村的調查過程中，也發現眞菌類的天敵。將採樣的標本送台灣大學植物病理系進行鑑定，經謝煥儒教授初步鑑定的結果，應屬於放線菌科的眞菌，其他相關的資料仍在蒐集研究（圖十四）。此眞菌性



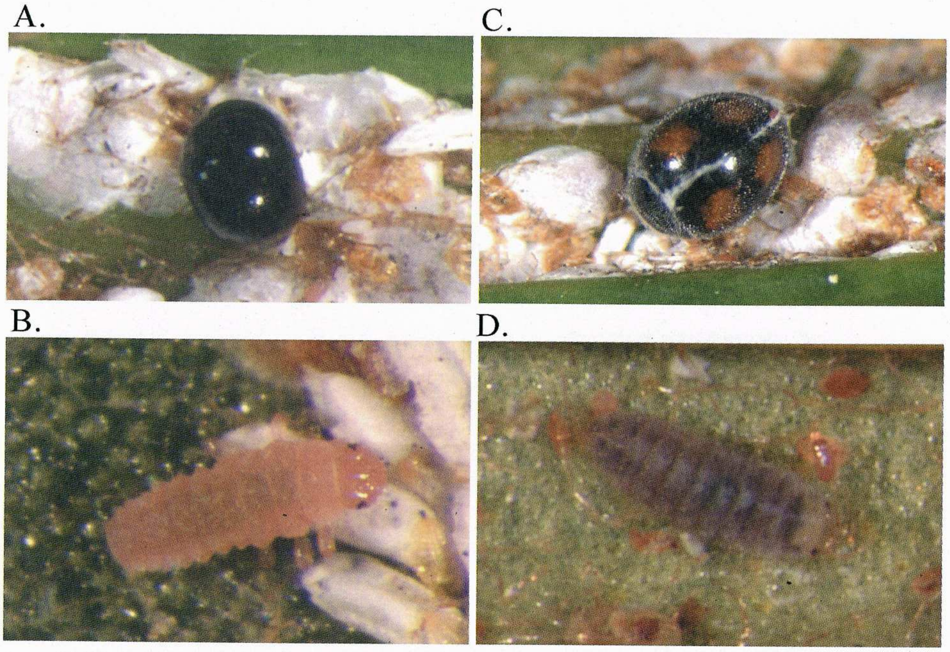
圖九、2002年蘇鐵白輪盾介殼蟲各齡期之族群動態

Fig. 9. Population dynamics of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui*, in 2002.



圖十、蘇鐵白輪盾介殼蟲之天敵草蛉。A. & B. 卵；C. & D. 幼蟲。

Fig. 10. Predator of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui*: green lacewing, A. & B. eggs, C. & D. larva.

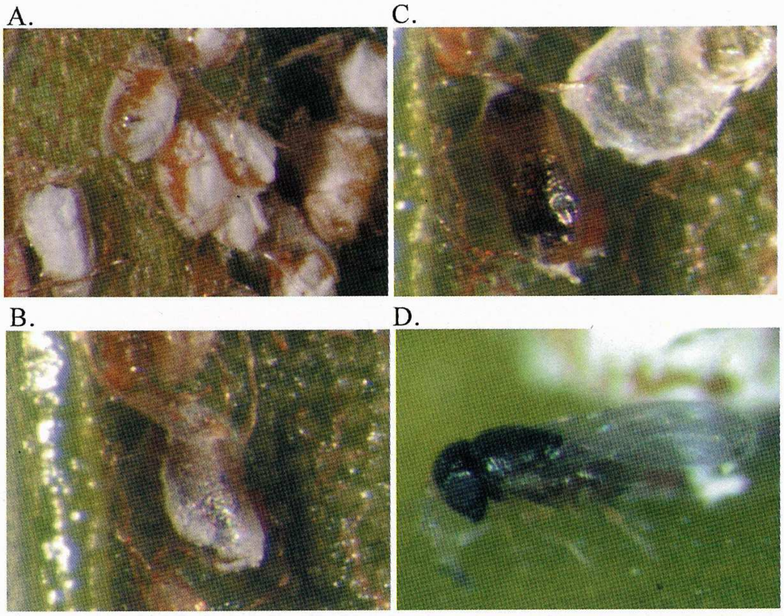


圖十一、蘇鐵白輪盾介殼蟲之天敵瓢蟲。A. 粉白小黑瓢蟲成蟲；B. 粉白小黑瓢蟲幼蟲；C. 四星小黑瓢蟲成蟲；D. 四星小黑瓢蟲幼蟲

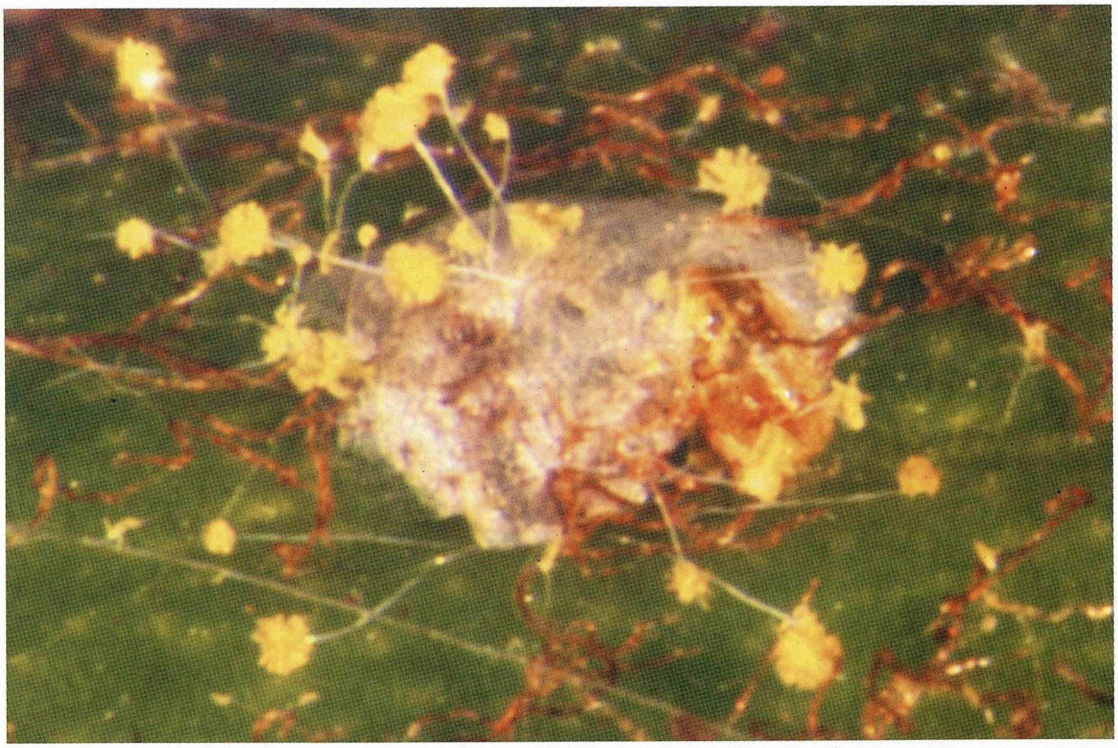
Fig. 11. Predator of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui*: ladybird beetle, A. & B. adult and larva of *Telsimia nitida*, C. & D. adult and larva of *Pharoscymnus taoi*.

圖十二、蘇鐵白輪盾介殼蟲之天敵食粉蝨薊馬

Fig. 12. Predator of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui*: thrip, *Aleurodothrips fasciapennis* (Franklin).



圖十三、蘇鐵白輪盾介殼蟲之天敵跳小蜂(*Arrhenophagus chionaspidis* Aurvillius)
Fig. 13. Parasitoid of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui*: encyrtids, *Arrhenophagus Chionaspids* Aurvillius.



圖十四、蘇鐵白輪盾介殼蟲之真菌性天敵放線菌
Fig. 14. Entomopathogenic fungus, Actinomycetaceae, of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui*.

天敵若經確認，不失爲生物防治另一利用的方向。

此外，由於國內蘇鐵遭受蘇鐵白輪盾介殼蟲嚴重危害，爲保護台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區內之台東蘇鐵免受本蟲的危害，擬仿效美國佛羅里達州 Baranowski and Glenn(1999)(9) 針對該介殼蟲的作法，自泰國引入該介殼蟲的捕食性天敵雙色出尾蟲 (*Cybocephalus binotatus* Grouvelle)，和寄生性天敵褐黃異角蚜小蜂 (*Coccobius fulvus*) 進行生物防治。目前，與屏東科技大學合作，已向動植物防疫檢疫局提出自泰國引進天敵的申請。

雙色出尾蟲 (*Cybocephalus binotatus*)，其分類地位爲鞘翅目方頭出尾蟲科 (Cybocephalidae)， *Cybocephalus* 屬的捕食性出尾蟲，爲盾介殼蟲類重要的天敵，生物防治天敵中，是目前廣泛使用的種類。美國曾引入該屬的三個種類，進行盾介殼蟲的生物防治。其中，有自亞洲引入的 *Cybocephalus gibbulus* Erichson，釋放於南加州，用以防治加州紅介殼蟲 (13)。另外，尙有自韓國引入的 *Cybocephalus nipponicus*，釋放於美國東北部，用以防治 euonymus scale(12)；以及自泰國引入的雙色出尾蟲 (*Cybocephalus binotatus*)，釋放於佛羅里達州 43 個地點，用以防治蘇鐵白輪盾介殼蟲 (9)。

此外，褐黃異角蚜小蜂 (*Coccobius fulvus*) 亦是重要的天敵之一，其分類地位爲膜翅目蚜小蜂科 (Aphelinidae)，爲介殼蟲類重要的天敵。該寄生蜂從卵發育至成蟲的時間很短，在 25 °C的條件下僅需 25 天，20 °C的條件下也只要 33 天。加上淨生殖力大 (30.4)，成蟲壽命長 (20.2 天)，使得該寄生蜂在寄主低族群量時具防治能力的優良寄生蜂 (15)。美國加州在 1950 年即自台灣引入該寄生蜂，進行柑橘上介殼蟲 (purple scale, *Lepidosaphes beckii* (Newman)) 的生物防治 (11)。1980 年，日本則自中國大陸引入該寄生蜂，主要針對柑橘上的箭頭介殼蟲 (arrowhead scale, *Unaspis yanonensis*) 進行生物防治 (15)。此外，美國佛羅里達州在 1997 年，自泰國引入該寄生蜂，釋放於佛羅里達州 20 個地點，用以防治蘇鐵白輪盾介殼蟲 (9)。

由此可知，雙色出尾蟲和褐黃異角蚜小蜂均有引入防治介殼蟲的先例，尤其美國佛羅里達州已進行引入釋放防治蘇鐵白輪盾介殼蟲，效果顯著，值得我們效法引入，進行蘇鐵白輪盾介殼蟲的防治試驗。

五、蘇鐵白輪盾介殼蟲輻射處理之研究

輻射照射的應用很廣，其中應用在農業上的主要有：*1.*農產品及食品的照射；*2.*昆蟲不孕性處理技術；*3.*誘變育種；*4.*雜項應用等。農產品食品輻射照射技術應用之目的，是爲達到殺菌、降低菌數、滅蟲、抑制發芽、延遲蔬果後熟及改善品質

等功能，在國際上研究已長達五十餘年，安全性早在 1980 年被聯合國糧農組織 (FAO) 、國際原能總署 (IAEA) 、世界衛生組織 (WHO) 和美國醫藥學會證實，在劑量 10Kgy 以下的照射的農產品食品是衛生安全，不需再經任何毒性試驗，而且該類產品亦無營養及微生物方面的特殊問題。 1986 年美國食品藥物檢驗局 (FDA) 一連串通過多項農產品加馬射線處理的法規使輻射照射技術商業化 (3) 。

我國衛生署也於 1983 、 1985 、 1999 年陸續批准十餘項農產品之照射相關規定，使食品輻射照射有法源根據。此外，輻射照射有其特殊的優點，例如：*1.* 操作簡單、方便、快速而有效；*2.* 加馬射線穿透力強，且均勻度佳，可大量迅速處理樣品；*3.* 可減少化學藥物的使用；*4.* 經照射之食品，其化學組成不受影響。因而，使輻射照射成爲近年來檢疫處理的研究重點 (1) 。

本研究以 Co^{60} 的加馬射線進行蘇鐵白輪盾介殼蟲 (Aulacaspis yasumatsui Takagi) 的輻射處理試驗。在針對卵、一齡遊走若蟲及一齡固著若蟲，進行輻射照射劑量的試驗中，卵對輻射的敏感度最高，在 150 Gy 的照射劑量下，所有卵均無法孵化。一齡遊走若蟲試驗的結果，以 200 Gy 的輻射劑量照射後，若蟲活動力降低無法固著而死亡。一齡固著若蟲在 250 Gy 的照射劑量之下，生長明顯受阻，介殼泌蠟分泌不健全，試驗的固著若蟲均無法順利脫皮發育爲二齡若蟲。

由初步的成果可知，利用輻射照射對蘇鐵白輪盾介殼蟲的卵期及一齡若蟲期，具有相當有效的滅蟲效果。若以輻射照射作爲檢疫處理措施，對蘇鐵白輪盾介殼蟲卵及一齡若蟲期，以 250 Gy 的照射處理劑量進行，即可達完全滅蟲的要求。不過仍必須進行更進一步的評估試驗，以期能實際應用於未來檢疫措施的實際業務上。

六、蘇鐵白輪盾介殼蟲殺蟲藥劑的篩選及執行緊急防治

在基礎研究進行的同時，也與桃園區農業改良場施錫彬副研究員合作，進行有效殺蟲藥劑的篩選，以實際提供蘇鐵白輪盾介殼蟲的防治，有關藥劑篩選試驗主要由桃園區農業改良場完成。

殺蟲劑對介殼蟲初齡移動若蟲毒性測驗，結果顯示 11% 百利普芬乳劑、 4.95% 芬普尼水懸劑、 9.6% 益達胺溶液、 48.34% 丁基加保扶可濕性粉劑及 44% 大滅松乳劑之 LD50 分別爲 112.34ppm 、 49.97ppm 、 72.34ppm 、 297.07ppm ，表示移動若蟲對藥劑非常敏感。

室內浸漬藥劑藥效測定，則以 95% 夏油稀釋 100 倍、 2% Citrle 稀釋 100 倍的效果最佳，可達 100% 的殺蟲效果。其次， 44% 大滅松乳劑稀釋 1,000 倍及 9.6% 益達胺溶液稀釋 1,000 倍效果也很優異，殺蟲效果都在 90% 以上。

田間藥效測定試驗，結果以 44% 大滅松乳劑稀釋 1,000 倍、 95% 夏油稀釋 100

倍的防治效果最好。進行防治時，先修剪危害葉片後，利用強力水柱去除腋芽鱗莖及絨毛內介殼蟲，再噴灑 44% 大滅松乳劑稀釋 1,000 倍加 95% 夏油稀釋 100 倍之處理，可徹底防治蘇鐵白輪盾介殼蟲。

目前，蘇鐵白輪盾介殼蟲已經蔓延到台東縣延平鄉，包括鄰近台東蘇鐵自然保留區的紅葉村及桃源村，對台灣原生種台東蘇鐵造成嚴重危害的威脅。經過實地勘查，雖然「台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區」的台東蘇鐵，目前尚無被害徵狀，但是該自然保留區距離受害嚴重的紅葉村，僅有數公里之遠，如果任由紅葉村的蘇鐵白輪盾介殼蟲蔓延，很可能會對自然保留區內珍貴稀有的台東蘇鐵造成很大災害。

因此，在該蟲尚未擴大危害，入侵自然保留區之前，應未雨綢繆妥爲因應。所以，在動植物防疫檢疫局的策劃下，針對紅葉村及桃源村進行蘇鐵白輪盾介殼蟲緊急撲滅的防治計畫。本計畫採取標、本兼治方式進行蘇鐵白輪盾介殼蟲緊急防治。近程方面，利用篩選出的有效化學藥劑進行噴灑，以 44% 大滅松乳劑稀釋 1,000 倍加 95% 夏油稀釋 100 倍之混合液，針對紅葉村及桃源村之蘇鐵白輪盾介殼蟲進行緊急撲滅工作。中程方面，則自泰國引進有效天敵，建立飼養及釋放技術。遠程方面則收集本蟲之生態資料，評估耕作防治、物理防治、生物防治等可行性。結合蘇鐵之栽培管理、害蟲的生態監測、各種防治策略之施行等，期能進行蘇鐵害蟲綜合管理，進而推廣應用於蘇鐵的栽培管理，徹底解決當前蘇鐵栽培之困境。

截至目前爲止，針對紅葉村及桃源村兩聚落，共約 3,000 餘棵蘇鐵，已連續進行六次全面性的化學防治噴藥工作。除了少數噴藥樣點其防治率約達 90% 外，其餘噴藥樣點防治率幾乎達 100% ，估計再進行 2-3 次的噴藥，即可完成紅葉村及桃源村蘇鐵白輪盾介殼蟲的緊急撲滅計畫，使台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區保有安全之緩衝區。

2003 年 1 月，歐洲暨地中海植物保護組織 (European and Mediterranean Plant Protection Organization) 已明訂將蘇鐵白輪盾介殼蟲列爲警戒害蟲名錄 (alert list)，在農產品的進出口上，受到嚴格的法規管制。爲了保護台東原生蘇鐵保留區不受該蟲的侵襲危害，降低農民栽種蘇鐵的損失，以及減少公園、校園、綠地上蘇鐵的死亡，亟需建立一個杜絕蘇鐵白輪盾介殼蟲擴散的標準操作程序，以遏止該蟲的擴散及危害。目前也已草擬完成杜絕蘇鐵白輪盾介殼蟲擴散的標準操作程序，期能有效杜絕本蟲之擴散，保護台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區內之珍貴蘇鐵。

結　語

鑑於蘇鐵白輪介殼蟲在近幾年的擴散、危害，本蟲若未能有效的管理，將使台灣的蘇鐵面臨極大的生存威脅。尤其在台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區內之珍貴稀有的台東蘇鐵林，將可能遭受入侵危害。本文嘗試以害蟲綜合管理防治的角度出發，收集本蟲相關的資料，期能建立本蟲的綜合管理方法，有助於蘇鐵的保護。

參考文獻

1. 吳家駒、錢明賽。 2000 。食品照射法規之發展現況。核研季刊 34:7-17 。

2. 邱一中、吳文哲、石正人。 2001 。利用 PCR-RFLP 技術鑑定三種白輪盾介殼蟲 (*Aulacaspis* spp.)(同翅目：盾介殼蟲科) 及其在檢疫上之應用。台灣昆蟲 21:365-375 。

3. 胡燦。 2000 。輻射照射農業應用研發工作的回顧。核研季刊 34:47-53 。

4. 徐堉峰、楊平世、藍博倫。 1998 。台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區東陞蘇鐵小灰蝶生態基本資料研究及蝶相。台灣省農林廳林務局保育研究系列 87-10 號。 33 頁。

5. 徐堉峰、楊平世、藍博倫、吳立偉、許芳瑾。 2000 。台東紅葉村台東蘇鐵自然保留區東陞蘇鐵小灰蝶生態基本資料研究及蝶相 (二) 。台灣省農林廳林務局保育研究系列 89-11 號。 62 頁。

6. 許如君。 1995 。樟白輪盾蚧在樟樹上的族群動態、空間分佈及取樣技術。國立台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。 70 頁。

7. 張玉珍、洪麗梅 (編) 。 1986 。臺灣林木害蟲及其寄主植物名錄。臺灣省林業試驗所，台北市。 282 頁。

8. 國立臺灣大學昆蟲研究室 (編) 。 1976 。臺灣花木之重要害蟲。國立臺灣大學昆蟲研究室，台北市。 84 頁。

9. Baranowski, R. M., and Glenn, H. B. 1999. Establishment of *Cybocephalus binotatus* Grouvelle and *Coccobius fulvus* (Compere & Annecke) for suppression of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi (Homoptera: Diaspididae) in South Florida. Florida Entomological Society Eighty-second Annual Meeting, International Caribbean Conference of Entomology, Fourth Joint Meeting,

The Puerto Rico Entomology Society, July 25-29, San Juan, Puerto Rico. (Poster session abstract)

10. CABI/EPPO. 2000. *Aulacaspis yasumatsui*. Distribution Maps of Plant Pests No. 610. CAB International, Wallingford, UK.

11. Clausen, C. P. ed. 1978. Introduced parasites and predators of arthropod pests and weeds: a world review. USDA, Agric. Handbook 480. 545 pp.

12. Drea, J. J., and Carlson, R. W. 1988. Establishment of Cybocephalus (Coleoptera: Nitidulidae) from Korea on Unaspis euonymi (Homoptera: Diaspididae) in the Eastern United States. Proc. Entomol. Soc. Wash. 90: 307-309.

13. Flanders, S. E. 1934. The life histories of three newly imported predators of the red scale. J. Econ. Entomol. 27: 723-724.

14. Foldi, I. 1990. The scale cover. pp. 43-54. in: D. Rosen, ed. Armored Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies and Control. Volume A. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 384 pp.

15. Furnashi, K., and Nishino, M. 1983. Biological control of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis*, by parasitic wasps introduced from China. Entomophaga 28: 277-286.

16. Giliomee, J. H. 1990. The adult male. pp. 21-28. in: D. Rosen, ed. Armored Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies And Control. Volume A. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 384 pp.

17. Halbert, S. E. 2000. Entomology Section-*Aulacaspis yasumatsui* Takagi. Triology 39, Part. 1.

18. Heu, R. A., and Chun, M. E. 2000. Sago Palm Scale. New Pest Adivsory #99-01. Honolulu, State of Hawaii Department of Agriculture. 2 pp.

19. Hodgson, C., and Martin, J. H. 2001. Three noteworthy scale insects (Hemiptera: Coccoidea) from Hong Kong and Singapore, including *Cribropulvinaria tailungensis*, new genus and species (Coccidae), and the status of the cycad-feeding *Aulacaspis yasumatsui* (Diaspididae). The Raffles Bulletin of Zoology 49: 227-250.

20. Howard, F. W., and Weissling, T. J. 1999. Questions and answers about the cycad aulacaspic scale insect. Proc. Fla. St. Hort. Soc. 112: 243-245.

21. Howard, F. W., Hamon A., McLaughlin, M., Weissling, T., and Yang, S. L. 1999. *Aulacaspis yasumatsui* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Diaspididae), a

scale insect pest of cycads recently introduced into Florida. Fla. Entomol. 82: 14-27.

22. Koteja, J. 1990. Life history. pp. 243-254. *in*: D. Rosen, ed. Armored Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies And Control. Volume A. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 384 pp.

23. Shen, C. F., Hill, K. D., Tsou, C. H., and Chen, C. J. 1994. *Cycas taitungensis* sp. nov. (Cycadaceae), a new name for the widely known cycad species endemic in Taiwan. Bot. Bull. Acad. Sin. 35: 133-140.

24. Takagi, S. 1990. The adult female. pp. 5-28. *in*: D. Rosen, ed. Armored Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies And Control. Volume A. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands. 384 pp.

25. Takagi, S. 1977. A new species of *Aulacaspis* associated with a cycad in Thailand (Homoptera: Coccoidea). pp.68-72. in: S. I. Nakao, S. Takagi, T. Tachikawa, and T. Wongsiri. Scale Insects Collected on Citrus and Other Plants and Their Hymenopterous Parasites in Thailand. Insecta Matsumurana New Series 11: 61-72.

26. Tang, W., Yang, S. L., and Vatcharakorn, P. 1997. Cycads of Thailand. Nong Nooch Tropical Garden and the Cycad Conservation Company, Bangkok. 34 pp.

ABSTRACT

Chiu, Y. C.[1], Wu, W. J.[1], Lai, P. Y.[2], Shih, H. P.[3], and Shih, C. J.[1] 2003. Study on the ecology and control of cycad scale, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi (Homoptera: Diaspididae). p.169-191 *in*: Proceedings of the Integrated Managemunt of Crops Pests in Taiwan.

([1]Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC; [2]Institute of Tropical Agriculture & International Cooperation, National Pingtung University of Science & Techology, Nei Pu, Pingtung, Taiwan 912, ROC; [3]Taoyuan District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture, Sinwu, Taoyuan, Taiwan 327, ROC)

Since 2000, heavy infestations of a scale insect, *Aulacaspis yasumatsui* Takagi, have been discovered on cycad, an important ornamental plant in Taiwan. A large number of cycads were found dead in parks, schools, building grounds, and gardens, resulting from its damage. *A. yasumatsui* known to have a high reproductive potential and its area of damage covering the entire plant, including such plant parts as the scales of a stem and underground roots, rendered its control difficult. Since *A. yasumatsui* was only discovered recently in Taiwan, information on its basic biology and ecology has been seriously lacking. This made its control even more difficult. Therefore, we reported here the findings of our study on *A. yasumatsui* in such areas as the routes of its invasion and dispersion, diagnostic identification, life history and population dynamics, screening of insecticides for its control, survey of its native natural enemies, quarantine treatment with radiation, emergency control, and establishment of a standard operation procedure (SOP) to prevent its further spread into cycad protection areas. The findings of this study may be useful in the development of an integrated pest management system for *A. yasumatsui*.

Key words: cycad, Aulacaspis yasumatsui Takagi, cycad aulacaspis scale, identi fication, population dynamics, control